

Artículo de revisión

Estudio químico del aroma y bioactividad de la fruta del pepino dulce (*Solanum muricatum*)

Flavor chemistry and bioactivity studies on sweet cucumber (*Solanum muricatum*) pulp fruit

Karen Nataly Díaz,  Carmen Tatiana Cuadrado-Silva,  Coralia Osorio*

Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Artículo de posesión para admisión como miembro correspondiente a la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Resumen

Los compuestos volátiles activos olfativamente en el aroma de la fruta del pepino dulce (*Solanum muricatum*) se extrajeron mediante la técnica de extracción de *aroma asistido por disolventes (solvent-assisted flavor evaporation, SAFE)*, se analizaron por cromatografía de gases acoplada a olfatometría (CGO), y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/EM) y se compararon con estándares. Los compuestos con más influencia en el aroma de la fruta se diferenciaron mediante el análisis por dilución del extracto de aroma (*aroma extract dilution analysis, AEDA*). Con base en el cálculo del valor de la actividad del olor (*odor activity value, OAV*) se identificaron como compuestos de impacto de la fruta el *E*-6-nonenal (nota acuosa), el *E*-2-nonenal (nota verde- pepino), el hexanal (nota verde), el nonanal (nota verde-pepino) y la 1-penten-3-ona (nota etérea). También se estudiaron *in vitro* algunas de las propiedades biofuncionales de la fruta: la actividad antihipertensiva mediante la inhibición de la enzima convertidora de angiotensina-I (ECA-I) y la actividad antihipercolesterolemica con base en la inhibición de la 3-hidroxi-3-metilglutaril-coenzima A (HMG-CoA) reductasa. Se encontró que la fruta presenta una actividad inhibitoria de la ECA-I promisorio ($IC_{50}=3,72 \pm 0,19$ ppm), ya que se obtuvo un valor mucho menor que el obtenido para el control positivo (lisinopril). También se evidenció con el tiempo que el extracto de la fruta inhibió la actividad de la HMG-CoA reductasa con una cinética comparable a la del control positivo (pravastatina). Con estos resultados, la fruta de *S. muricatum* se convierte en una candidata potencial para el desarrollo de alimentos funcionales.

Palabras clave: Análisis sensorial; SAFE; AEDA; Inhibición ECA-I; Sustancias activas olfativamente; Actividad antihipercolesterolemica.

Abstract

Odor-active volatile compounds of sweet cucumber (*Solanum muricatum*) fruit were extracted by using the solvent-assisted flavor evaporation (SAFE) technique and analyzed, by gas chromatography coupled to olfactometry (GC-O) and gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS), and compared with standards. The most relevant compounds in the aroma of this fruit were determined by the aroma extract dilution analysis (AEDA) technique. Based on the odor activity value (OAV) the following key-aroma compounds were identified: (*E*)-6-nonenal (aqueous odor note), (*E*)-2-nonenal (green, cucumber-like odor note), hexanal (green odor note), nonanal (green, vegetable odor note), and 1-penten-3-one (ethereal note). Some biofunctional properties of the fruit were studied *in vitro*. Antihypertensive and anti-hypercholesterolemic activities were measured by using the angiotensin-converting enzyme inhibition (ACE-I) and the 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A (HMG-CoA) reductase inhibition assays, respectively. The fruit exhibited a promising ACE-I inhibitory activity ($IC_{50}=3.72 \pm 0.19$ ppm) but lower than that of the positive control (lisinopril). The fruit extract inhibited the activity of the HMG-CoA reductase over time with similar kinetics to the positive control (pravastatin). Based on these results, *S. muricatum* fruit could be considered a potential candidate for the development of functional foods.

Keywords: Sensory analyses; SAFE; AEDA; ACE-I inhibition; Odor-active volatiles; Anti-hypercholesterolemic activity.

Citación: Nataly Díaz K, Cuadrado-Silva CT, Osorio C. Estudio químico del aroma y bioactividad de la fruta del pepino dulce (*Solanum muricatum*). Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 45(175):582-590, abril-junio de 2021. doi: <https://doi.org/10.18257/racefyn.1323>

Editor: Elizabeth Castañeda

***Correspondencia:**

Coralia Osorio; cosorior@unal.edu.co

Recibido: 15 de octubre de 2020

Aceptado: 11 de marzo de 2021

Publicado: 17 de junio de 2021



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

El pepino dulce o pepino melón (*Solanum muricatum* Aiton) pertenece a la familia *Solanaceae* y es originario de las regiones tropicales y subtropicales de los Andes, pero ha sido domesticado con éxito en otros continentes. Es un fruto jugoso, con un sabor fresco y agradable y con un aroma que recuerda al del melón (Contreras, *et al.*, 2016). Se consume en fresco y se utiliza también para hacer ensaladas o postres dependiendo de su estado de madurez y recientemente se está utilizando en batidos de frutas debido a su bajo contenido calórico (Botrel, *et al.*, 2020). En cuanto a sus nutrientes, se han reportado las vitaminas A, B₁, y C, de las cuales esta última es la más abundante (por lo general entre 30 y 80 mg/100 g), así como cantidades significativas de calcio, fósforo, hierro y potasio (InfoAgro, 2020).

En un estudio realizado en tres cultivares de pepino dulce, uno de Japón y dos de Nueva Zelanda, se aislaron los compuestos volátiles mediante destilación por vapor y extracción simultánea de solvente (*simultaneous steam distillation and solvent extraction*, SDE) y se caracterizó su aroma con la presencia de las siguientes notas olfativas: verde, fresca, dulce y agradable que recuerda el aroma de frutas como el melón o el mango. Mediante el uso de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/EM), se identificaron como componentes mayoritarios el 3-metil-2-buten-1-ol, el 3-metil-3-buten-1-ol, el acetato de 3-metil-2-buten-1-ilo, el acetato de 3-metil-3-buten-1-ilo, el acetato de butilo y el acetato de (*Z*)-6-nonen-1-ilo (Shiota, *et al.*, 1988). En otro estudio se aislaron en diez clones de pepino (*Solanum muricatum*) los componentes volátiles con actividad olfativa, también extraídos por SDE, se analizaron por CG/EM, y se encontró que 17 de ellos contribuían significativamente al aroma de la fruta, con las siguientes notas olfativas: frutal fresca (acetatos y 3-metil-2-buten-1-ol), verde (aldehídos C₆ y C₉), y exótica (lactonas, mesifurano y *b*-damascenona) (Rodríguez-Burruezo, *et al.*, 2004). Sin embargo, hasta el momento no se han identificado los compuestos de impacto del aroma de la fruta.

Las enfermedades relacionadas con el estilo de vida (hipertensión, diabetes, hipercolesterolemia y obesidad, entre otras) se han incrementado en los últimos años. De estas, la hipertensión es una enfermedad cardiovascular peligrosa que puede producir infarto de miocardio o accidentes cerebrovasculares y cuyo pronóstico es complejo, además, recientemente se ha determinado que es la comorbilidad más frecuente de la Covid-19. La hipertensión se define como presión arterial muy elevada y en su tratamiento y control por lo general se utilizan los inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (ECA-I) (Rachmawati, *et al.*, 2016).

Las frutas de la familia *Solanaceae*, específicamente la uchuva (*Physalis peruviana*), el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y el lulo (*Solanum quitoense*), sobresalen por su producción en la región andina de Colombia y su potencial para abrir nuevos mercados internacionales. Recientemente, se determinó la presencia de derivados de espermidina con actividad antihipertensiva (inhibición de la ECA-I) en la pulpa de lulo (*S. quitoense* Lam.) mediante acoplamiento molecular *in silico* y experimentos *in vitro* (Forero, *et al.*, 2016). En el caso del tomate de árbol (*S. betaceum*), se encontró que el ácido rosmarínico era uno de los responsables de la actividad inhibidora de la ECA-I (Prieto-Pabón, 2016). La uchuva, por su parte, es una fuente de provitamina A, vitamina C, complejo E, vitamina B y minerales. Esta fruta deshidratada ya se ha introducido de manera exitosa en el mercado de Estados Unidos y ha sido catalogada como una “*superfruit*” gracias a sus propiedades funcionales, entre las que se destaca la reducción de la concentración de colesterol en sangre, actividad confirmada mediante experimentos en ratas (Ramadan, *et al.*, 2013; Osorio, *et al.*, 2016). Estos resultados sugieren que las frutas de la familia de las solanáceas se pueden considerar alimentos funcionales porque podrían beneficiar la salud de los consumidores más allá del efecto nutricional *per se* (Durán & Valenzuela, 2010).

En este contexto, en el presente trabajo se definió como objetivo identificar y cuantificar los compuestos activos en el aroma del pepino dulce responsables de una de las características más llamativas de este fruto, combinando herramientas analíticas y sensoriales

(*sensomics approach*) (Hofmann, et al., 2014). Además, se evaluó la actividad antihipertensiva y antihipercolesterolémica *in vitro* de la fruta para determinar su potencial como alimento funcional.

Materiales y métodos

Material vegetal

Las frutas de pepino dulce se adquirieron en estado de madurez de consumo en mercados locales de la ciudad de Bogotá. El estado de madurez se caracterizó midiendo su pH con un pHmetro C6820 (Schott Gerate, Berlín, Alemania) y el contenido de sólidos solubles (°Brix) utilizando un refractómetro Atago® PAL-alfa a 20 °C.

Reactivos

Se utilizó una mezcla de parafinas patrón (C₈-C₂₅) marca Restek (Bellefonte, PA, USA). Además, se utilizaron las siguientes sustancias de referencia para confirmar la identidad de los compuestos volátiles: (*E*)-2-hexenal, (*E*)-2-nonenal y nonanol (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA); hexanol (Alfa Aesar, Heysham, UK), y hexanal, acetato de hexilo, nonanal, (*E*)-6-nonenal, γ -nonalactona y δ -octalactona, generosamente suministrados por la empresa DISAROMAS S.A. (Bogotá, Colombia). Otros reactivos como diclorometano y sulfato de sodio anhidro se adquirieron comercialmente (Merck, Darmstadt, Alemania).

Obtención del extracto de compuestos volátiles

Se tomaron 260 g de fruta fresca sin cáscara, la cual se cortó en rodajas y se homogenizó con un mezclador automático. Con el fin de remover el agua de la fruta (>90 %) se adicionaron 270 g de sulfato de sodio anhidro y posteriormente se hizo la extracción con 250 mL de diclorometano para después destilar en vacío mediante SAFE (Engel, et al., 1999). La fase orgánica enriquecida en compuestos volátiles se concentró en una columna Vigreux hasta un volumen de 0,2 mL.

Análisis cromatográfico por cromatografía de gases acoplada a olfatometría (CGO)

Para determinar cuáles compuestos volátiles contribuían al aroma de *S. muricatum*, se analizó el extracto obtenido mediante SAFE por CGO utilizando un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890, Serie II, equipado con una columna FFAP (30 m x 0,32 mm i.d., 0,25 μ m de espesor de película). El volumen de inyección fue de 1 μ L en modo *split* (1:10). La temperatura del horno se programó a partir de 40 °C donde se mantuvo por un minuto, luego se calentó a 6 °C por minuto hasta los 180 °C y, finalmente, a 12 °C por minuto hasta los 230 °C. La temperatura del inyector y del detector se ajustó a 230 °C y se usó helio como gas de arrastre a 1,5 mL/min. El final de la columna se conectó a un divisor de flujo en Y, se dividió el flujo del eluyente en dos partes iguales, una para el detector de ionización de llama (*flame ionization detector*, FID) y la otra para el puerto de olfacción (1:1) usando capilares de sílice fundido desactivados y de la misma longitud. Tres panelistas entrenados en las notas más relevantes del aroma de la fruta detectaron las regiones donde eluían los compuestos activos en el aroma y describieron las notas olfativas percibidas, análisis que se efectuó por triplicado.

A continuación se empleó el método AEDA (Grosch, 1994), con el fin de establecer la contribución individual al aroma total de la fruta de cada compuesto volátil activo olfativamente. Así, se diluyó el extracto original obtenido por SAFE en un factor de 2ⁿ (hasta 2¹⁴), y se hizo el respectivo análisis por CGO de cada una de las diluciones en serie. La máxima dilución en la cual se alcanzaba a detectar cada compuesto (2ⁿ), se expresó como el factor de dilución de aroma (FD) (Tabla 1).

Análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/EM), e identificación y cuantificación de los compuestos volátiles activos olfativamente

El extracto obtenido por la técnica SAFE se analizó en un detector selectivo de masas Agilent 5977A acoplado a un cromatógrafo de gases Agilent 7890B en modo de ionización electrónica a 70 eV. Los espectros de masas se tomaron en el rango de 30 a 350 u.

Tabla 1. Compuestos volátiles activos en el aroma del pepino dulce (*S. muricatum*) identificados en el extracto mediante SAFE

| No. ^a | Compuesto ^b | Nota olfativa ^c | IR ^d (FFAP) | FD ^e | Cantidad ± DE ^f (microg/ kg fruta) | Valor umbral de olor ^g (microg/ kg en agua) | OAV ^h |
|------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|
| 1 | 1-Penten-3-ona* | Solvente, etéreo | 1034 | 128 | 66,7 ± 49,1 | 1.3 | 51 |
| 2 | Acetato de butilo* | Tostado, verde | 1081 | 8 | 100,6 ± 23,2 | 66 | 2 |
| 3 | Hexanal | Verde-pasto | 1096 | 64 | 553,5 ± 310,9 | 5 | 111 |
| 4 | 1-Penten-3-ol* | Verde, verdura | 1153 | 256 | 24,1 ± 13,2 | 400 | 0 |
| 5 | (<i>E</i>)-2-Hexenal | Verde fresco | 1226 | 128 | 740,1 ± 455,8 | 17 | 44 |
| 6 | Acetato de hexilo | Verde, frutal | 1249 | 256 | 33,2 ± 13,7 | 2 | 17 |
| 7 | 2-Heptenal* | Frutal | 1347 | 256 | 31,8 ± 1,4 | 13 | 2 |
| 8 | Hexanol | Frutal | 1360 | 256 | 13,8 ± 10,3 | 2500 | 0 |
| 9 | Nonanal | Pepino, verde | 1396 | 4096 | 61,9 ± 8,0 | 1 | 62 |
| 10 | 2-Hexenol* | Verde, sandía, hoja | 1439 | 1024 | 9,9 ± 6,2 | 70 | 0 |
| 11 | (<i>E</i>)-6-Nonenal | Melón, sandía | 1447 | 256 | 130,2 ± 14,2 | 0.02 | 6509 |
| 12 | Metiltio acetato de etilo* | Frutal, rancio | 1526 | 4096 | 11,3 ± 5,4 | 250 | 0 |
| 13 | (<i>E</i>)-2-Nonenal | Pepino, verde | 1582 | 2048 | 53,6 ± 4,6 | 0.1 | 536 |
| 14 | Nonanol | Frutal, verde, grasoso | 1646 | 512 | 12,6 ± 1,2 | 50 | 0 |
| 15 | 4-Oxo-Nonanal* | Verde | 1889 | 4096 | 58,9 ± 3,6 | - | - |
| 16 | δ-Octalactona | Frutal, coco | 2007 | 2048 | 18,7 ± 7,2 | 400 | 0 |
| 17 | γ-Nonalactona | Dulce, almíbar, coco | 2048 | 32 | 29,4 ± 7,0 | 220 | 0 |
| EI | Cinamato de etilo | - | 2114 | | 250,0 | - | - |

^a Los odorantes se enumeraron según su tiempo de retención en columna FFAP. EI = estándar interno. ^b Los odorantes se identificaron por comparación de su índice de retención, espectro de masas, y nota olfativa con los respectivos compuestos de referencia; los que tienen asterisco solo se identificaron por comparación con la base de datos NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library 2014 (2.2). ^c Nota olfativa como se percibe en el olfatómetro durante los análisis por CGO. ^d Factor de dilución de aroma. ^e IR: índice de retención. ^f FD: factor de dilución de aroma determinado mediante el experimento AEDA. ^g Los datos son el resultado de dos medidas ± desviación estándar (DE). ^h **Leffingwell & Associates** (2008). ^h OAV: *odor activity value*, concentración del compuesto dividido entre el valor umbral de olor; -: no reportado

El cromatógrafo de gases tenía una columna FFAP (Agilent) de 50 m x 0,2 mm i.d. y 0,233 µm de espesor de película, la cual se usó con el mismo programa de temperatura de los experimentos por CGO. La temperatura del inyector fue de 250 °C y el gas de arrastre, helio, se aplicó a 1 mL/min. La inyección se hizo en el modo *split* (1:10).

La identificación de los compuestos volátiles activos olfativamente en el aroma de la fruta se hizo comparando sus espectros de masas, sus índices de retención calculados con base en los tiempos de retención de una mezcla de parafinas patrón, y las notas de olor con los respectivos estándares. Se consultó la base de datos NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library 2014 (2.2) en aquellos casos en los cuales no se consiguieron los estándares (**Tabla 1**).

Para la cuantificación de los compuestos se utilizó el método del estándar interno. Para tal fin, se utilizó cinamato de etilo (98 %, 50 µg; 250 mg/kg fruta) (Alfa Aesar, Heysham, UK) en diclorometano adicionado directamente a la fruta homogenizada antes

del proceso de extracción por SAFE. La relación de áreas entre el estándar y cada uno de los compuestos volátiles activos olfativamente permitió calcular la cantidad de cada compuesto. Los experimentos se realizaron por duplicado.

Evaluación de las propiedades biofuncionales

Se retiró la cáscara de 360 g de pepino dulce que se sometieron a liofilización durante 48 horas en un liofilizador Beta1-8 LD plus (Martin Christ, Alemania) a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión de 1,0 mbar para obtener 32,7 g de liofilizado. Luego se tomaron 0,5 g del liofilizado, se homogenizaron en 10 mL de agua desionizada y se pasaron a través de un cartucho RP 18 (Merck LiChrolut) con ayuda de un sistema Manifold con vacío para extracción en fase sólida. Los compuestos de interés se eluyeron con 10 mL de etanol, el solvente se eliminó en rotavapor y el residuo se liofilizó y, por último, se preparó una solución en 2 mL de etanol con agua (1:1, v/v) para hacer el análisis de las propiedades biofuncionales.

La actividad antihipertensiva se midió *in vitro* utilizando el kit enzimático ACE-Kit WST (Dojindo Laboratories, Kumamoto, Japón). El ensayo se llevó a cabo siguiendo el protocolo proporcionado por el fabricante (**Dojindo Molecular Technologies**, 2017) y por triplicado. La absorbancia de las reacciones se midió en un lector multimodal de microplacas Berthold (Alemania) a $\lambda=450\text{ nm}$. La actividad inhibitoria de la ECA-I (angiotensina-I) se calculó según la fórmula incluida en el protocolo (ecuación 1). Se utilizó lisinopril como control positivo (5-100 ppm), y se hicieron experimentos con blanco en las mismas condiciones, uno sin muestra (blanco 1) y otro sin enzima (blanco 2, blanco de reactivos). Los resultados se expresaron como la IC_{50} definida como la concentración de extracto requerida para inhibir al 50 % la actividad de la ECA-I bajo las condiciones del ensayo.

$$\% \text{ inhibición} = \frac{(A_{\text{Blanco1}} - A_{\text{Muestra}})}{(A_{\text{Blanco1}} - A_{\text{Blanco2}})} * 100 \quad (1).$$

La actividad antihipercolesterolemica del extracto del fruto de *S. muricatum* se determinó usando el kit enzimático de HMG-CoA reductasa (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) según el protocolo recomendado por el fabricante. La concentración de la solución *stock* de HMG-CoA reductasa fue de 0,5–0,75 mg/mL. El extracto de la fruta se adicionó a una mezcla de reacción que contenía el sustrato de HMG-CoA (400 μM) y una solución *buffer* de fosfato de sodio (100 mM, pH 7,4), y a continuación se agregó la HMG-CoA reductasa (2 μL). La reacción se incubó a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la absorbancia se midió a $\lambda=340\text{ nm}$ durante 30 minutos en un lector multimodal de microplacas Berthold (Alemania). Se usó pravastatina (Sigma- Aldrich Co.) como control positivo.

Análisis estadístico

Los datos de la cuantificación de los compuestos volátiles se reportaron como promedios \pm desviación estándar (DE) de las determinaciones realizadas en duplicado.

Resultados y discusión

El valor de pH de las frutas de pepino dulce fue de $5,1 \pm 0,4$ y el porcentaje de sólidos solubles, de $6,5 \pm 0,2$ °Brix, lo que indicaba un estado de madurez de consumo (**Figura 1**).

Estudio del aroma del pepino dulce

Al extracto enriquecido en compuestos volátiles del pepino dulce, obtenido mediante la técnica SAFE, se le hizo un análisis sensorial descriptivo con ayuda de panelistas entrenados utilizando CGO. Se encontró que las notas olfativas más relevantes eran la acuosa, verde, frutal, fresca y dulce. Este análisis permitió detectar también 17 zonas olfativas (**Figura 2**) que correspondían a ésteres (acetatos), compuestos alifáticos C6 y C9 y algunas lactonas (**Tabla 1**).

Según los resultados del AEDA, se encontró que los compuestos con aporte olfativo en las mayores diluciones fueron el nonanal, el metiltio acetato de etilo, el 4-oxo-nonanal, el (*E*)-2-nonenal, la δ -octalactona y el 2-hexenol. Después de cuantificar y calcular los OAV, se determinó que los compuestos de impacto del aroma de la fruta eran el (*E*)-6-nonenal,



Figura 1. Foto de la fruta del pepino dulce (*Solanum muricatum*).

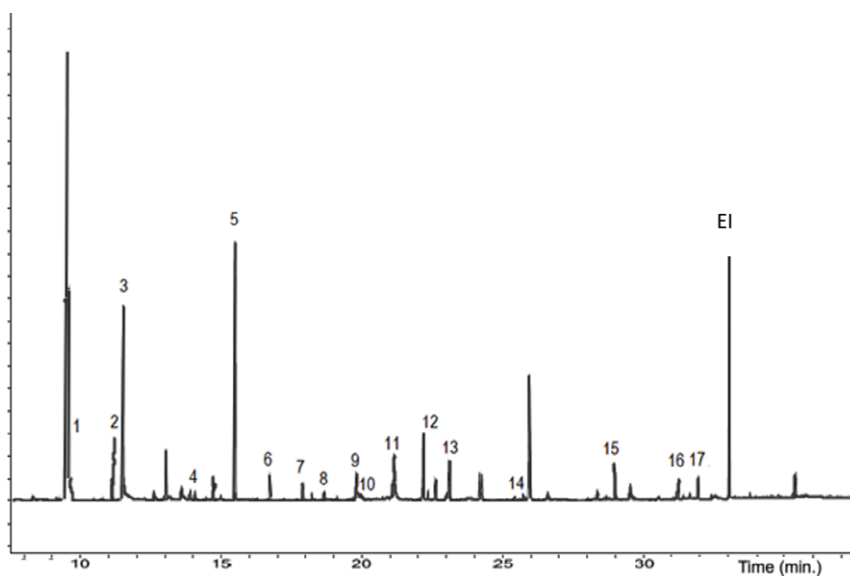


Figura 2. Análisis cromatográfico del extracto SAFE de pepino dulce (*S. muricatum*) con la identificación numérica de compuestos listados en la **tabla 1**. Análisis realizado por CG/EM en columna FFAP. EI: estándar interno

el (*E*)-2-nonenal, el hexanal, el nonanal y la 1-penten-3-ona. Estos compuestos exhibieron notas acuosas, verde y fresca, respectivamente. La presencia de nonenales no es común en el aroma de otras frutas de la familia Solanaceae, sin embargo, se han encontrado como relevantes en el aroma de la sandía, pues contribuye a su aroma con bajos valores del umbral de olor y notas acuosas características (Liu, *et al.*, 2018).

La composición de compuestos volátiles muestra que la ruta catabólica de la β -oxidación de los ácidos grasos está activada en esta fruta por la producción de ésteres alifáticos (acetato de butilo y acetato de hexilo), cetonas (1-penten-3-ona), γ -lactonas. La degradación oxidativa del ácido linoleico también se activa por la vía 9-lipoxygenasa

mediante la producción de (*E*)-6-nonenal, (*E*)-2-nonenal, nonanol y nonanal, y por la vía de la 13-lipoxigenasa mediante la producción de hexanal, (*E*)-2-hexenal, hexanol y 2-hexenol (Fisher, *et al.*, 1997), lo que genera compuestos volátiles que producen las notas olfativas características de esta fruta.

Los resultados acá obtenidos son similares a los obtenidos previamente por Rodríguez-Burruezo, *et al.* (2004), quienes reportaron la presencia de aldehidos alifáticos C6 y C9 como compuestos relevantes en el aroma de *S. muricatum*, pero difieren de lo reportado por Shiota, *et al.* (1988), quienes reportaron varios alcoholes insaturados alifáticos, metil butenoles y algunos de sus ésteres. Esto debido a que utilizaron un método de extracción con calentamiento de la muestra y no hicieron experimentos de olfometría para determinar la real contribución de cada uno de estos compuestos volátiles al aroma.

Evaluación de las propiedades biofuncionales

Se estudió la actividad antihipertensiva *in vitro* de la fruta de *S. muricatum* evaluando su efecto inhibitor sobre la actividad de la enzima ECA-I y se encontró que dicha actividad dependía de la concentración. El valor de IC_{50} fue de $3,72 \pm 0,19$ ppm (ecuación de regresión: $y=50,94x - 29,17$; $r=0,9302$), es decir, mucho menor que el del control positivo, el lisinopril ($709,36 \pm 54,90$ ppm, $y=13,84x - 10,54$; $r=0,9959$), y ligeramente mayor pero comparable con el reportado por Forero, *et al.* (2016) para el lulo (*S. quitoense*), cuyo IC_{50} fue de $1,08 \pm 0,30$ ppm. Este resultado evidencia una actividad antihipertensiva promisoriosa en la fruta que amerita continuar los estudios e identificar los compuestos fitoquímicos responsables de esta actividad.

La actividad antihipercolesterémica del extracto acuoso de *S. muricatum* se determinó evaluando la actividad de la 3-hidroxi-2-metilglutaril-CoA (HMG-CoA) reductasa en presencia del sustrato HMG-CoA y registrando el cambio de la absorbancia del NADPH ($\lambda = 340$ nm) con el tiempo (Figura 3). Esta enzima es la que controla la producción de colesterol a partir de acetilCoA, de modo que su inhibición indica una actividad antihipercolesterémica. En la figura 3 se observa la actividad significativa del extracto de pepino dulce al inhibir progresivamente con el tiempo y de manera exponencial la actividad enzimática. En otros estudios se ha detectado la presencia de saponinas con actividad antihipercolesterémica en algunas especies de la familia solanácea, como *S. aculeatissimum* (Kohara, *et al.*, 2005).

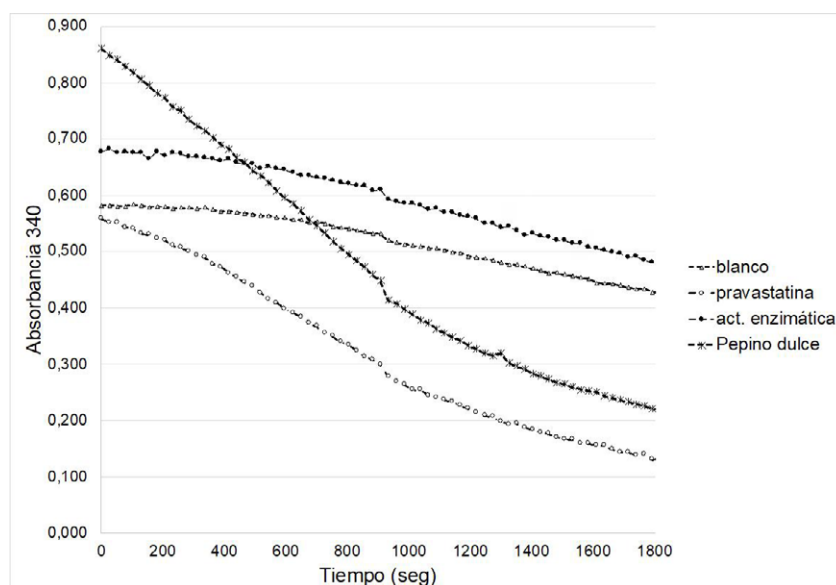


Figura 3. Resultados de la evaluación de la actividad antihipercolesterémica del pepino dulce. Control positivo: pravastatina

Al obtener una respuesta promisorio en la actividad antihipertensiva del pepino dulce, se hizo una encuesta a 20 personas entre los 41 y los 50 años diagnosticadas como hipertensas. Se encontró que el 50 % de ellas sabían que el tomate de árbol y el lulo son frutas que ayudan a regular la tensión alta; sin embargo, se observó que ninguna sabía del pepino dulce. Al preguntar sobre la presentación más deseable para un nuevo producto funcional a base de esta fruta expresaron su preferencia por una bebida acuosa (85 %) y, en segundo lugar, por una presentación pulverizada (15 %).

Conclusiones

Los compuestos activos en el aroma de *S. muricatum* exhibieron notas características descritas como verde, frutal y acuosa similares a las percibidas en la sandía o el pepino común. La relevancia de los nonenales, el (*E*)-2-hexenal y hexanal en el aroma de la fruta se reporta aquí por primera vez. Se encontró que la fruta tenía actividad antihipertensiva y antihipercolesterolemia *in vitro*, lo que conjuntamente con su agradable aroma, la hace promisorio para el desarrollo de alimentos funcionales. El consumo de esta fruta puede beneficiar a la población que sufra de enfermedades asociadas con el estilo de vida, algunas de las cuales son comorbilidades asociadas con la Covid-19.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas (contrato No. 0459-2013, Red Nacional para la Bioprospección de Frutas Tropicales-RIFRUTBIO). C. T. Cuadrado Silva agradece la financiación de sus estudios posdoctorales por parte de Colciencias (Contrato No. FP44842-183-2018). Los autores agradecen la colaboración de Diana Martín en la utilización de las técnicas de identificación de los compuestos activos en el aroma de la fruta de estudio.

Contribución de los autores

ND: procesamiento de la muestra para el análisis de compuestos volátiles y para la determinación de la actividad antihipertensiva, análisis e identificación de los compuestos activos en el aroma de la fruta, y escritura del manuscrito. CTC: implementación del método de actividad antihipertensiva y medición de los experimentos. CO: idea original de la investigación, análisis de los resultados, revisión y corrección del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Botrel, N. & de Castro e Melo, R. A.** (2020). Quality aspects of pepino dulce fruits in distinct ripening stages, packaging forms and storage conditions. *Braz J Food Technol.* **23**: 1-7.
- Contreras, C., González-Agüero, M., Defilippi, B. B.** (2016). A review of pepino (*Solanum muricatum* Aiton) fruit: A quality perspective. *HortScience.* **51**: 1127-1133.
- Dojindo Molecular Technologies Inc.** (2017). ACE Kit - WST Technical Manual Fecha de consulta: octubre de 2020. Consultado en: https://www.dojindo.eu.com/TechnicalManual/Manual_A502.pdf
- Durán C, R., Valenzuela B, A.** (2010). La experiencia japonesa con los alimentos FOSHU ¿Los verdaderos alimentos funcionales? *Rev Chil Nutr.* **37**: 224-233.
- Engel, W., Bahr, W., Schieberle, P.** (1999). Solvent assisted flavour evaporation – a new and versatile technique for the careful and direct isolation of aroma compounds from complex food matrices. *Eur Food Res Technol.* **209**: 237-241.
- Fisher, C. & Scott, T. R.** (1997). *Food Flavours, Biology and Chemistry* (pp. 25–26). Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry.
- Forero, D. P., Masatani, Ch., Fujimoto, Y., Coy-Barrera, E., Peterson, D. G., Osorio, C.** (2016). Spermidine derivatives in lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit: sensory (taste) versus bio-functional (ACE-inhibition) properties. *J Agric Food Chem.* **64**: 5375-5383.

- Grosch, W.** (1994). Determination of potent odourants in food by aroma extract dilution analysis (AEDA) and calculation of odor activity values (OAVs). *Flavour Frag J.* **9**: 147-158.
- Hofmann, T., Schieberle, P.** (2014). Elucidation of the chemosensory code of foods by means of a SENSOMICS approach. En: AJ Taylor & DS Mottram (Eds.), *Flavour Science. Proceedings of the XIV Weurman Flavour Research Symposium*. Context Products Ltd: Leicestershire, UK, pp 3-18.
- InfoAgro.** El cultivo del Pepino Dulce. (2020). Fecha de consulta: en octubre 2020. Consultado en: https://www.infoagro.com/hortalizas/pepino_dulce.htm
- Kohara, A., Nakajima, Ch., Hashimoto, K., Ikenaga, T., Tanaka, H., Yukihiro, S., Yoshida, S., Muranaka, T.** (2005). A novel glucosyltransferase involved in steroid saponin biosynthesis in *Solanum aculeatissimum*. *Plant Cell Rep.* **57**: 225-239.
- Leffingwell & Associates.** (2008). Odor & Flavor Detection Thresholds in Water (In parts per billion). Fecha de consulta: octubre de 2020. Consultado en: <http://www.leffingwell.com/odorthre.htm>
- Liu, Y., He C., Song, H.** (2018). Comparison of fresh watermelon juice aroma characteristics of five varieties based on gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry. *Food Res Int.* **107**: 119-129.
- Osorio, C., Schreckinger, M., Bhargava, P., Bang, W. Y., Jacobo-Velásquez, D., Cisneros-Zevallos, L.** (2016). Golden berry and selected tropical (açai, acerola, and maqui) juices. En F. Shahidi & C. Alasalvar (Eds.), *Handbook of Functional Beverages and Human Health* (p. 890). Boca Raton: Taylor and Francis Group.
- Prieto-Pabón, L. J.** (2016). Estudio de los compuestos bioactivos reponsables del sabor de tomate de árbol Var. Amarilla (*Solanum betaceum* Cav.). Tesis de Maestría en Ciencias-Química. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rachmawati, H., Soraya, I. S., Fisheri Kurnati, N., Rahma, A.** (2016). *In vitro* study on antihypertensive and antihypercholesterolemic effects of a curcumin nanoemulsion. *Sci Pharm.* **84**: 131-140.
- Ramadan, M. F., Hassan, N. A., Elsanhoty, R. M., Sitohy, M. Z.** (2013). Goldenberry (*Physalis peruviana*) juice rich in health-beneficial compounds suppresses high-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia in Rats. *J Food Biochem.* **37**: 708-722.
- Rodríguez-Burruezo, A., Kollmannsberger, H., Prohens, J., Nitz, S., Nuez, F.** (2004). Analysis of the volatile aroma constituents of parental and hybrid clones of pepino (*Solanum muricatum*). *J Agric Food Chem.* **52**: 5663-5669.
- Shiota, H., Young, H., Paterson, V. J., Irie, M.** (1988). Volatile aroma constituents of pepino fruit. *J Sci Food Agric.* **43**: 343-354.